

PCT/JP2004/012340

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

20.08.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 8月21日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-297682
[ST. 10/C]: [JP2003-297682]

REC'D 07 OCT 2004

WIPO PCT

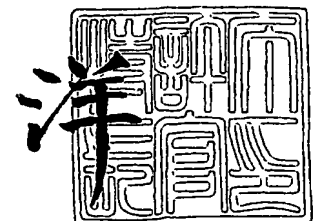
出 願 人
Applicant(s): 豊田合成株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 9月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特2004-3085802

【書類名】 特許願
【整理番号】 P03038TG
【提出日】 平成15年 8月21日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 33/00
H01S 5/12

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合成株式会社内
【氏名】 安藤 雅信

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合成株式会社内
【氏名】 中井 真仁

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合成株式会社内
【氏名】 上村 俊也

【発明者】
【住所又は居所】 奈良県生駒郡安堵町東安堵 1 4 5 0 番 1 1 号
【氏名】 中山 正昭

【特許出願人】
【識別番号】 000241463
【氏名又は名称】 豊田合成株式会社

【代理人】
【識別番号】 100087723
【弁理士】
【氏名又は名称】 藤谷 修
【電話番号】 052-232-0733
【ファクシミリ番号】 052-232-0737

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 007445
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0012134

【書類名】特許請求の範囲**【請求項 1】**

III族窒化物系化合物半導体から成る半導体層を複数層積層することにより形成される半導体発光素子であって、

少なくともインジウム (In) を含む単層構造の半導体層から成る活性層を有し、
前記活性層のインジウム (In) の組成比 a は、

0.0001以上、0.05以下であり、かつ、

前記活性層の成長軸に平行な z 軸方向において、略一定の周期 L で波形に変化し、
前記周期 L は、

1 nm以上10 nm以下の略一定値を有する

ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】

III族窒化物系化合物半導体から成る半導体層を複数層積層することにより形成される半導体発光素子であって、

単層構造の半導体層から成る活性層を有し、

前記活性層のインジウム (In) の組成比 a は、

0.0001以上、0.05以下であり、かつ、

前記活性層の成長軸に平行な z 軸方向において、略一定の周期 L で波形に変化し、
前記周期 L は、

ボーア半径 R の1倍以上6倍以下の略一定値を有する

ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 3】

前記周期 L は、2.4 nm以上6.8 nm以下の略一定値を有する

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

前記組成比 a は、0.010以上、0.040以下である

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか 1 項に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】

前記組成比 a の前記 z 軸方向の勾配 $\partial a / \partial z$ は、

殆ど至る所で 0.01 nm^{-1} 以下である

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 の何れか 1 項に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】

面発光型の半導体レーザーであって、

前記活性層の上方及び下方に、前記 z 軸に垂直な反射面をそれぞれ有し、

双方の前記反射面の間の光学的な距離 ΔZ は、発振波長 λ の半分 ($\lambda / 2$) の整数倍である

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 の何れか 1 項に記載の半導体発光素子。

【請求項 7】

前記整数は、1以上10以下である

ことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体発光素子。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 6 の何れか 1 項に記載の半導体発光素子の製造方法であって、

前記活性層が成長する結晶成長面に対する、単位時間当たりのインジウム (In) 材料ガスの供給量を、10秒以上6分以下の範囲内の略一定の時間周期で変化させる

ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 9】

前記時間周期を30秒以上2分以下の範囲内の略一定の値にする

ことを特徴とする請求項 8 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【書類名】 明細書**【発明の名称】 半導体発光素子及びその製造方法****【技術分野】****【0001】**

本発明は、活性層が単層構造の半導体発光素子に関する。

【0002】

本発明は、半導体レーザや発光ダイオード（LED）などの半導体発光素子の他、半導体受光素子にも適用することができる。

【背景技術】**【0003】**

面発光型の半導体レーザとしては、例えば下記の特許文献1に記載されている素子などが公知である。この面発光型の半導体レーザには、高い利得を得るために、MQW構造の活性層が備えられている。

【0004】

もちろん、発光ダイオード（LED）や端面発光型の半導体レーザなどにおいても、MQW構造の活性層が備えられているものは少なくない。図6は下記の特許文献2に記載されている端面発光型の半導体レーザの模式的な斜視図を抜粋したものであるが、例えばこのようなMQW構造の活性層は、現在、多くの半導体発光素子に用いられている。

【特許文献1】 特開平11-46038**【特許文献2】** 特開2001-160627**【非特許文献1】** C.F.Klingshirn, "Semiconductor Optics", 第19章**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

しかしながら、MQW構造の活性層には、以下の問題がある。

(1) 構造が複雑なので、設計が容易でない。

【0006】

特に、面発光型の半導体レーザの場合、例えばDBR（分布ブラッグ反射器）などで形成される2面の反射面の光学的な距離は、発振波長 λ の半分の整数倍に成る様に、各部の屈折率を加味しながら設計しなければならない。したがって、このような設計は、活性層の構造が複雑になるほど複雑になる。

(2) 構造が複雑なので、製造工程が複雑となる。

【0007】

特に、井戸層とバリア層の界面では、エネルギー準位のギャップ（勾配）ができるだけ急峻であることが望ましいが、そのような構造を形成するためには、半導体結晶の成長層を次に積層すべき層に変更する際に、次層の結晶成長に当たって不要となる材料ガスを一端きれいに排気しなければならない。また、井戸層とバリア層の結晶成長温度に合わせて装置の温度を各層毎に調節したり、或いは昇温中に井戸層が揮発しないようにキャップ層を積層する工程を更に導入したりする等の必要も生じる。

【0008】

このため、従来技術では、無駄な材料の発生が多く、結晶成長に必要となる時間も長くなるざるを得ない。即ち、MQW構造は、材料コストや生産効率などの面で、必ずしも望ましい活性層の構造とはいえない。特に、この問題は、井戸層の積層数が大きくなるほど表面化又は顕在化するので、従来技術では、高い利得の活性層を簡単に安く得ることは到底困難である。

【0009】

本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、利得の高い活性層を安価な生産コストで簡単に得ることにより、半導体発光素子の生産コストを抑制することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記の課題を解決するためには、以下の手段が有効である。

【0011】

即ち、本発明の第1の手段は、III族窒化物系化合物半導体から成る半導体層を複数層積層することにより形成される半導体発光素子において、少なくともインジウム(In)を含む単層構造の半導体層から成る活性層を設け、この活性層のインジウム(In)の組成比aを、0.0001以上、0.05以下にして、かつ、組成比aを活性層の成長軸に平行なz軸方向において略一定の周期Lで波形に変化させ、更にその周期Lを1nm以上10nm以下の略一定値にすることである。

【0012】

ただし、ここで言う「III族窒化物系化合物半導体」一般には、2元、3元、又は4元の「 $Al_{1-x-y}Ga_yIn_xN$; $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq 1-x-y \leq 1$ 」成る一般式で表される任意の混晶比の半導体が含まれ、更に、p型或いはn型の不純物が添加された半導体もまた、これらの「III族窒化物系化合物半導体」の範疇である。

【0013】

また、上記のIII族元素(Al, Ga, In)の内の少なくとも一部をボロン(B)やタリウム(Tl)等で置換したり、或いは、窒素(N)の少なくとも一部をリン(P)、砒素(As)、アンチモン(Sb)、ビスマス(Bi)等で置換したりした半導体等をもまた、これらの「III族窒化物系化合物半導体」の範疇とする。

【0014】

また、上記のp型の不純物(アクセプター)としては、例えば、マグネシウム(Mg)や、或いはカルシウム(Ca)等の公知のp型不純物を添加することができる。

【0015】

また、上記のn型の不純物(ドナー)としては、例えば、シリコン(Si)や、硫黄(S)、セレン(Se)、テルル(Te)、或いはゲルマニウム(Ge)等の公知のn型不純物を添加することができる。

【0016】

また、これらの不純物(アクセプター又はドナー)は、同時に2元素以上を添加しても良いし、同時に両型(p型とn型)を添加しても良い。

【0017】

尚、基板上に結晶成長させる半導体結晶(III族窒化物系化合物半導体)の結晶成長方法としては、MOVPE法、HVPE法、MBE法などを用いることができる。

【0018】

また、本発明の第2の手段は、III族窒化物系化合物半導体から成る半導体層を複数層積層することにより形成される半導体発光素子において、少なくともインジウム(In)を含む単層構造の半導体層から成る活性層を設け、この活性層のインジウム(In)の組成比aを、0.0001以上、0.05以下にして、かつ、組成比aを活性層の成長軸に平行なz軸方向において略一定の周期Lで波形に変化させ、更にその周期Lをボーア半径Rの1倍以上6倍以下の略一定値にすることである。

【0019】

ただし、III族窒化物系化合物半導体の組成、不純物、結晶成長方法などに付いては、上記の第1の手段と同様でよい。

【0020】

また、この周期Lのより望ましい適正範囲は、ボーア半径Rの1倍以上4倍以下である。ただし、上記のボーア半径Rは、次式(1)で算定されるものとする。

(ボーア半径)

$$R = \frac{2\pi^2 e^4}{h^2 \epsilon^2 M} \quad \dots (1)$$

$$1/M \equiv 1/m_e^* + 1/m_h^*$$

(記号)

m_e^* : 電子の有効質量

m_h^* : 正孔の有効質量
 e : 電気素量
 h : プランク定数
 ϵ : 活性層の平均誘電率
 π : 円周率

ここで、誘電率 ϵ や各有効質量 (m_e^* , m_h^*) は、方向依存性を持つ場合もあるが、そのような場合には、上記の z 軸方向 (: 成長軸方向) の値を考えれば良い。

【0021】

例えば、窒化ガリウム (GaN) の場合、誘電率 ϵ 、電子の有効質量 m_e^* 、正孔の有効質量 m_h^* の各物性定数は、それぞれ以下の式 (2) の通りである。

(GaN の物性定数)

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= 5.4, \\
 m_e^* &= 0.20 m_0, \\
 m_h^* &= 1.4 m_0 \quad (m_0 : \text{電子の静止質量}) \quad \dots (2)
 \end{aligned}$$

また、本発明の第3の手段は、上記の第1又は第2の手段において、周期 L を 2.4 nm 以上 6.8 nm 以下の略一定値にすることである。

【0022】

より望ましくは、約 $2.9 \text{ nm} \sim 6.0 \text{ nm}$ 程度が良い。

【0023】

また、本発明の第4の手段は、上記の第1乃至第3の何れか1つの手段において、上記の組成比 a を 0.010 以上、 0.040 以下にすることである。

【0024】

より望ましくは、約 $0.02 \sim 0.03$ 程度が良い。

【0025】

また、本発明の第5の手段は、上記の第1乃至第4の何れか1つの手段において、上記の組成比 a の z 軸方向の勾配 $\partial a / \partial z$ を殆ど至る所で 0.01 nm^{-1} 以下にすることである。

【0026】

また、本発明の第6の手段は、上記の第1乃至第5の何れか1つの手段で製造される面発光型の半導体レーザにおいて、活性層の上方及び下方に z 軸に垂直な反射面をそれぞれ設け、この双方の反射面の間の光学的な距離 ΔZ を発振波長 λ の半分 ($\lambda/2$) の整数倍にすることである。

【0027】

ただし、ここで言う「発振波長 λ 」とは、レーザ発振により出力される光の真空中での波長のことである。また、「光学的な距離 ΔZ 」とは、光の共振領域の z 軸方向において、次式 (3) に従って定義される長さのことを言う。この式 (3) の右辺は定積分であり、勿論、その積分範囲は各反射面の位置座標で規定する。また、関数 $n(z, \lambda)$ は各座標 z での半導体結晶の屈折率であり、その関数値 n は、勿論、座標 z だけでなく、発振波長 λ にも依存する。

【0028】

$$\Delta Z \equiv \int n(z, \lambda) dz \quad \dots (3)$$

また、本発明の第7の手段は、上記の第6の手段において、上記の整数の値を 1 以上、 10 以下にすることである。

【0029】

また、本発明の第8の手段は、上記の第1乃至第7の何れか1つの手段で製造される半導体発光素子の製造工程において、活性層が成長する結晶成長面に対する単位時間当たりのインジウム (In) 材料ガスの供給量を、 10 秒以上 6 分以下の範囲内の略一定の時間周期で変化させることである。

【0030】

また、本発明の第9の手段は、上記の第8の手段において、上記の時間周期を 30 秒以

上 2 分以下の範囲内の略一定の値にすることである。

【0031】

以上の本発明の手段により、前記の課題を効果的、或いは合理的に解決することができる。

【発明の効果】

【0032】

以上の本発明の手段によって得られる効果は以下の通りである。

【0033】

まず、本発明の第 1 の手段と第 2 の手段であるが、今のところ、我々はこの 2 つの手段が略同等の手段ではないかと考えており、これらの手段によれば、高い利得の活性層を従来よりも遥かに簡単に製造することができる。この利得は、上記の活性層を用いて構成される半導体発光素子の構造によっては、誘導放出やレーザ発振を安定して継続的に引き起こすことができる程に十分に高いものである。

【0034】

上記の周期 L を 1 nm 以上 10 nm 以下の略一定値にすることにより高い利得が得られるのは、その設定により、上記の周期 L が活性層の中の電子正孔対が有するボーア半径 R に略一致するためだと考えられる。

【0035】

この誘導放出は、例えば後述の図 3-A, B にも例示される様に、自然放出光の発光より長波長側（低エネルギー側）で発生している。例えば図 3-A, B の場合では、発光出力のピークの位置が、注入キャリア量 I の増大に伴って、基準値 I_0 に対してキャリア量 I が $0.1 I_0 \sim 0.2 I_0$ 程度と成る辺りを境にして、約 6 nm 程長波長側にシフトしている。この様な発光機構としては、以下の様な過程が考えられる。

（発光機構）

活性層中で形成された電子正孔対（励起子 EX ）が他の励起子（ EX ）と衝突し、その後、一つの励起子が高エネルギー側の量子数 2 以上の励起子状態（ EX^* ）に散乱され、他方の励起子は低エネルギー側の光分枝に散乱されて光に変換される現象（ $EX + EX \rightarrow EX^* + \text{光子}$ ）がある。このような現象は、励起子-励起子散乱による P 発光過程と呼ばれ、例えば上記の非特許文献 1 に開示されているように、III 族窒化物系化合物半導体ではない他の半導体において、かつて光励起条件下において観測された例がある。

【0036】

我々は、この様な発光機構が、本発明の第 1 又は第 2 の手段により、III 族窒化物系化合物半導体に対する電流注入条件下においても、非常に効率よく実現できるものと考えている。また、この場合、理論的には少なくとも 2 つの励起子が上記の過程を経れば誘導放出に必要な利得を得ることができることは、上記の非特許文献 1 から十分類推可能な事情である。

【0037】

言い換えれば、活性層中で適度に励起子を局在化させれば、励起子がまったく自由に移動できる場合よりも上記の散乱の発生効率は向上すると考えられ、かつ、本発明の第 1 又は第 2 の手段は、この励起子の局在状態を非常に理想的な状態に導くものだと考えることができる。

【0038】

したがって、本発明の第 1 又は第 2 の手段によれば、単純な構造の活性層を用いて高い利得を獲得でき、例えば半導体レーザの場合、活性層に適度の I_n を含めるだけで、非常に低閾値電圧の半導体レーザを製造することができる。

【0039】

また、本発明の第 3 の手段によれば、活性層を不純物が無添加の $InGaN$ または $AlInGa$ から形成する場合等に、上記の周期 L を励起子半径 R に略一致させることができるので、上記の作用・効果をより確実に得ることができる。

【0040】

また、本発明の第4の手段によれば、発光効率の高い活性層を厚く形成することができ有利である。この値を大きくし過ぎると、活性層を厚くした時に、素子内に生じる応力が大きくなり過ぎて、素子の品質上望ましくない。また、この値を小さくし過ぎると、発光効率が下がってしまうことは言うまでもない。

【0041】

例えば、500 nm以上の活性層を成長させる場合には、インジウム (In) の組成比 a は2%辺りを限度とし、それ以上組成比 a を大きくすると、素子にクラック等の不具合が生じたり、素子の寿命が短くなったりする恐れが大きくなる。

【0042】

また、本発明の第5の手段によれば、活性層からの出力光のスペクトルの半値幅をある程度小さくすることができる。

【0043】

また、本発明の第6の手段によれば、共振方向の構造を極めて簡単にできるので、従来よりも容易に面発光型の半導体レーザを設計したり製造したりすることができる。

【0044】

この時の鏡面間の光学的な距離 ΔZ は発振波長 λ の半分 ($\lambda/2$) の1倍から10倍程度が良い (本発明の第7の手段)。1倍未満では z 軸方向の共振構造が形成できないことは言うまでもないが、この光学的な距離 ΔZ が長過ぎると、活性層を厚く積層することにより、素子内に発生する応力が大きくなり過ぎて、クラックや歪みの原因となり易く、十分な品質が確保し難くなる場合が多くなる。

【0045】

また、本発明の第8の手段によれば、インジウム (In) の材料ガスの供給量の調節だけで、上記の活性層を良質かつ簡単に製造することができる。

【0046】

インジウム (In) の組成比を変化させるには、インジウム (In) の材料ガスの、他の材料ガスに対する相対的な供給量の比を変化させれば良いので、勿論、他の材料ガスの供給量を制御パラメータとしても、上記の活性層を良質に製造可能なことは、言うまでもない。

【0047】

また、本発明の第9の手段によれば、活性層の結晶品質を高く確保しつつ、かつ、短い結晶成長時間 (：高い生産性) を獲得することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

【0049】

ただし、本発明の実施形態は、以下に示す個々の実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0050】

図1は、本発明の半導体発光素子 (端面発光型の半導体レーザ) の活性層を中心とする半導体結晶の積層構造10を例示する模式的な断面図である。

【0051】

シリコン (Si) ドープのn型の窒化ガリウム (GaN) から成るn型層11のキャリア濃度は、約 10^{19} cm^{-3} である。この上に結晶成長させたノンドープの活性層12は、インジウムの組成比 a が0.02のInGaNから形成されており、その膜厚は約200 nmである。活性層12の上には、マグネシウム (Mg) ドープのp型のAlGaNから成るp型クラッド層13と、同じくマグネシウム (Mg) ドープのp型のAlGaNから成るp型コンタクト層14とが順次結晶成長により積層されている。p型コンタクト層14のアルミニウム (Al) 組成比はp型クラッド層13のそれよりも小さい。ただし、p型コンタクト層14はアルミニウムを含んでいなくとも良い。

【0052】

上記の活性層12は、以下の様な結晶成長により製造した。

【0053】

温度を650℃に保持し、n型層11の結晶成長面にMOVPE法により、平均成長速度5nm/分で、40分間結晶成長を継続することにより、インジウム(In)の平均の組成比が約0.02のInGaNを約200nm結晶成長させた。

【0054】

このとき、原料にはトリメチルガリウム(TMGa:Ga(CH₃)₃)、トリメチルインジウム(TMI:In(CH₃)₃)、及びアンモニア(NH₃)を用い、また、フローガスにはN₂を使用した。

【0055】

この時、単位時間当たりのTMI供給量を図2の様に制御した。図2は、活性層12の結晶成長時のTMI供給方法を示すグラフである。

【0056】

ここで注意すべきことは、変化させるTMI供給量の振幅($\equiv (b_{\text{MAX}} - b_{\text{MIN}}) / 2$)と、時間周期 Δt である。この振幅が大きすぎると出力スペクトルの半値幅が大きくなり、また、この振幅が小さすぎれば励起子を拘束し難くなる。そこで、上記の活性層12の結晶成長においては、単位時間当たりのTMI供給量の最大値 b_{MAX} を8 $\mu\text{mol}/\text{分}$ とし、最小値 b_{MIN} を7 $\mu\text{mol}/\text{分}$ とした。

【0057】

また、時間周期 Δt は、成長軸に平行なz軸方向において略一定の周期Lで活性層12のインジウム組成比aを振動させる際の周期Lを決定するパラメータになる。

【0058】

前述の通り、z軸方向の組成比aの周期Lは、式(1)のボーア半径Rに一致させれば良い。この値Rは、以下のインジウム組成比aが0.02のInGaNの物性定数を式(1)に代入することにより求めることができる。

(InGaNの物性定数)

$$\begin{aligned} a &= 0.02 \text{ (平均値)}, \\ \epsilon &= 8.91 \text{ (平均値)}, \\ m_e^* &= 0.19 m_0, \\ m_h^* &= 1.4 m_0 \end{aligned} \quad (m_0: \text{電子の静止質量}) \quad \dots (4)$$

式(4)を式(1)に代入するこの計算により、活性層12内におけるボーア半径Rは2.82nmとなる。この長さを前述の周期Lと一致させるためには、上記の平均成長速度(5nm/分)から、図2の時間周期 Δt は34秒程度で良いことが判る。この様な周期で単位時間当たりのTMI供給量bを制御し、上記の通り40分間結晶成長を継続することにより、インジウム組成比aが局所的かつ周期的に濃淡を有する活性層12を成長することができる。この時この活性層12は、上記のようにその膜厚を約200nmとすれば、インジウム組成比aの濃淡周期を約71周期含むことになる。

【0059】

ただし、この時間周期 Δt は、例えば40秒程度でも良い。この時には、上記の平均成長速度(5nm/分)から、上記の周期Lは3.3nm程度になり、また、この時この活性層12は、上記のようにその膜厚を200nmとすれば、インジウム組成比aの濃淡周期を60周期含むことになる。

【0060】

即ち、その時の活性層12においては、z軸方向(成長軸方向)にL=3.3nm程度の略一定の周期で、インジウム組成比aの濃淡が、平均値(例:0.02)を中心として略正弦波状に繰り返される。また、この濃淡の振幅は上記の単位時間当たりのTMI供給量の振幅($\equiv (b_{\text{MAX}} - b_{\text{MIN}}) / 2$)に略比例する形に形成される。

【0061】

前にも述べた様に、シリコン(Si)ドープのn型の窒化ガリウム(GaN)から成るn型層11のキャリア濃度は、約 10^{19} cm^{-3} である。以下、このキャリア濃度をもたら

す注入キャリア量を I_0 とする。

【0062】

図3-A, Bは、上記の積層構造を有する端面発光型の半導体レーザの出力特性を例示するグラフである。ただし、その端面発光型の半導体レーザの構成は、以上の半導体結晶の積層構造10（図1）以外の部分については、特許文献2（図6）に習って従来通りとした。即ち、共振器の大きさ、形、電極の材料や配置等のその他の細部の構成については、極力従来通りとした。

【0063】

これらのグラフは、注入キャリア量 I の減少に伴って、発光強度が小さくなることを示しているが、上記の基準値 I_0 に対してキャリア量 I が $0.1I_0 \sim 0.2I_0$ 程度と成る辺りを境として、注入キャリア量 I が大きな領域では、注入キャリア量 I と発光強度との関係が非線形になっている。

【0064】

図3-Aでは、注入キャリア量 I が $0.2I_0$ を超えると、発光強度は I の2～3乗に比例する形をとっている。また、 $I = I_0$ では明確な発光の狭線化が起こっている。これらの現象は、活性層12内において誘導放出が起こっていることを意味するものと考えられるが、この発光強度の増大は、 10^{19} cm^{-3} 程度のキャリア濃度まで観測され、その後は、利得飽和が生じて若干強度勾配が緩やかになる。

【0065】

また、図2において $b_{\text{MAX}} \approx b_{\text{MIN}}$ とし、上記の活性層12が有するインジウム組成比 a （平均値）を上記と同じにして、比較対象とすべき他の半導体レーザを別途作製した。そして、この単層の活性層を持つ従来の端面発光型の半導体レーザの出力特性と、上記の実施例1の端面発光型の半導体レーザの出力特性とを比較した結果、実施例1の半導体レーザが、従来の半導体レーザの約70%の閾値キャリア密度で同様にレーザ発振することが確認できた。

【0066】

以上の実験結果から、次のことが結論できる。

- (1) z 軸方向のインジウム組成比 a の濃淡の周期 L は、ボーア半径 R 程度（1倍～4倍程度）にしておくことが望ましいと考えられる。
- (2) これらの構成により、活性層12の結晶成長工程では、例えば図2に例示する様に、単位時間当たりのTMIのガス供給量を制御することにより、単層構造の活性層を成長させる1つの結晶成長工程だけで、利得の高い活性層を製造することができる。
- (3) このため、半導体発光素子の生産性を大幅に向上させることができる。

【実施例2】

【0067】

図4は、本発明の活性層を有する面発光型の半導体レーザの半導体結晶の積層構造20を例示する模式的な断面図である。符号21は n 型のGa N から成る n 型コンタクト層であり、符号24は p 型のAlGa N から成る p 型層である。

【0068】

この面発光型の半導体レーザでは、InGa N （In組成比 $a = 0.02$ ）から成る活性層23の上方及び下方にそれぞれ、 n 型のInGa N から成る n 型DBR層22と誘電体から成るDBR層25を積層することにより、 z 軸に垂直な反射面が形成されている。即ち、活性層23の上方及び下方に z 軸に垂直な反射面をそれぞれ設けることで、共振器を構成する。

【0069】

ここで、この双方の反射面の間の光学的な距離 ΔZ （ $\equiv \int n(z, \lambda) dz$ ）は発振波長 λ の半分（ $\lambda/2$ ）の整数倍にする。この整数の値としては、1以上10以下程度が良い。ただし、「光学的な距離 ΔZ 」とは、光の共振領域の z 軸方向において、前述の式（3）に従って定義される長さのことである。

【0070】

その他の各部の構成については、周知の一般的な面発光型の半導体レーザの構成に従えば良い。例えば、この様な構成により、面発光型の半導体レーザを従来よりも遥かに簡単に製造することが可能となる。

【0071】

活性層 23 の上下双方には、高いエネルギーギャップを有するクラッド層等を形成しておくことが望ましい。この様な構成は、キャリア閉じ込め作用や光閉じ込め作用を奏するので、この様な構成によれば、面発光型の高効率或いは高出力の半導体レーザを製造することができる。

【実施例 3】

【0072】

図 5 は、AlInGa_N から成る本発明の活性層 32 を中心とする半導体結晶の積層構造 30 を例示する模式的な断面図である。この構成（積層構造 30）は、図 1 の構成の変形例に相当する。即ち、この構成は、端面発光型の半導体レーザ等に対して可用である。ここでは、インジウム組成比 a は実施例 1（図 1）と同等に維持し、更に発振波長 λ を短くするために、活性層 32 にアルミニウム（Al）を加え、その分ガリウム（Ga）の組成比を小さくする。

【0073】

符号 31 は窒化ガリウム（Ga_N）から成る n 型コンタクト層、符号 33 は、Mg ドープの AlGa_N から成る p 型クラッド層、符号 34 は Mg ドープの AlGa_N から成る p 型コンタクト層である。

【0074】

この様に、インジウム組成比 a を前述の実施例 1 と同様に高く維持するのは、励起子の局在化を促進するためである。例えばこの様に、インジウム組成比 a を高く維持することにより、励起子の局在化が促進される作用は、上記の特許文献 2 から十分類推可能な事情である。

【0075】

この手法によれば、活性層 32 にアルミニウムを適度に混晶させることにより、近紫外等の波長の短い半導体レーザや発光ダイオード（LED）を製造することも可能である。半導体発光素子に蛍光体を利用する場合などには、蛍光体における励起作用を促進すくために、出力波長が短い発光素子は有利なので、この様な構成も産業上の利用価値は大きいと言える。

【産業上の利用可能性】

【0076】

本発明は、面発光型や端面発光型等の半導体レーザだけでなく、LED 等のその他の各種の半導体発光素子にも有用である。

【0077】

また、本発明は、半導体発光素子のみならず、半導体受光素子にも有用である。

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図 1】 本発明の活性層を中心とする半導体結晶の積層構造を例示する模式的な断面図

【図 2】 活性層成長時の TMI 供給方法を示すグラフ

【図 3-A】 図 1 の積層構造を有する端面発光型の半導体レーザの出力特性を例示するグラフ

【図 3-B】 図 1 の積層構造を有する端面発光型の半導体レーザの出力特性を例示するグラフ

【図 4】 本発明の活性層を有する面発光型の半導体レーザの半導体結晶の積層構造を例示する模式的な断面図

【図 5】 本発明の活性層を中心とする半導体結晶の積層構造（図 1 の変形例）を例示する模式的な断面図

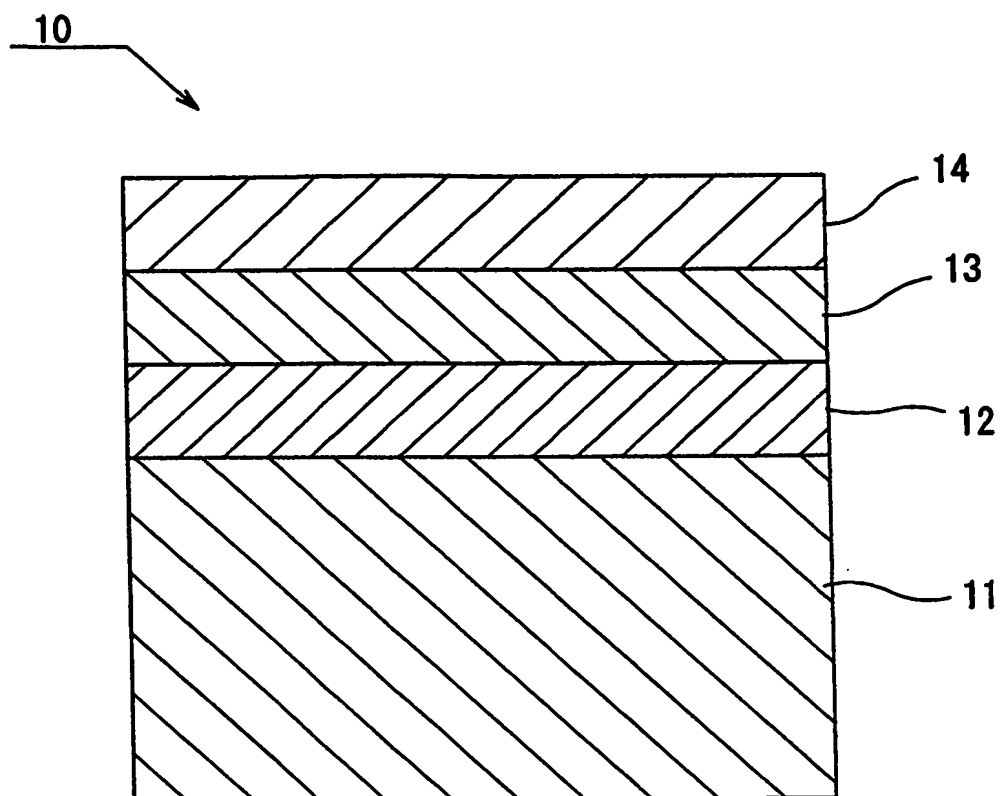
【図6】従来の端面発光型の半導体レーザの模式的な斜視図

【符号の説明】

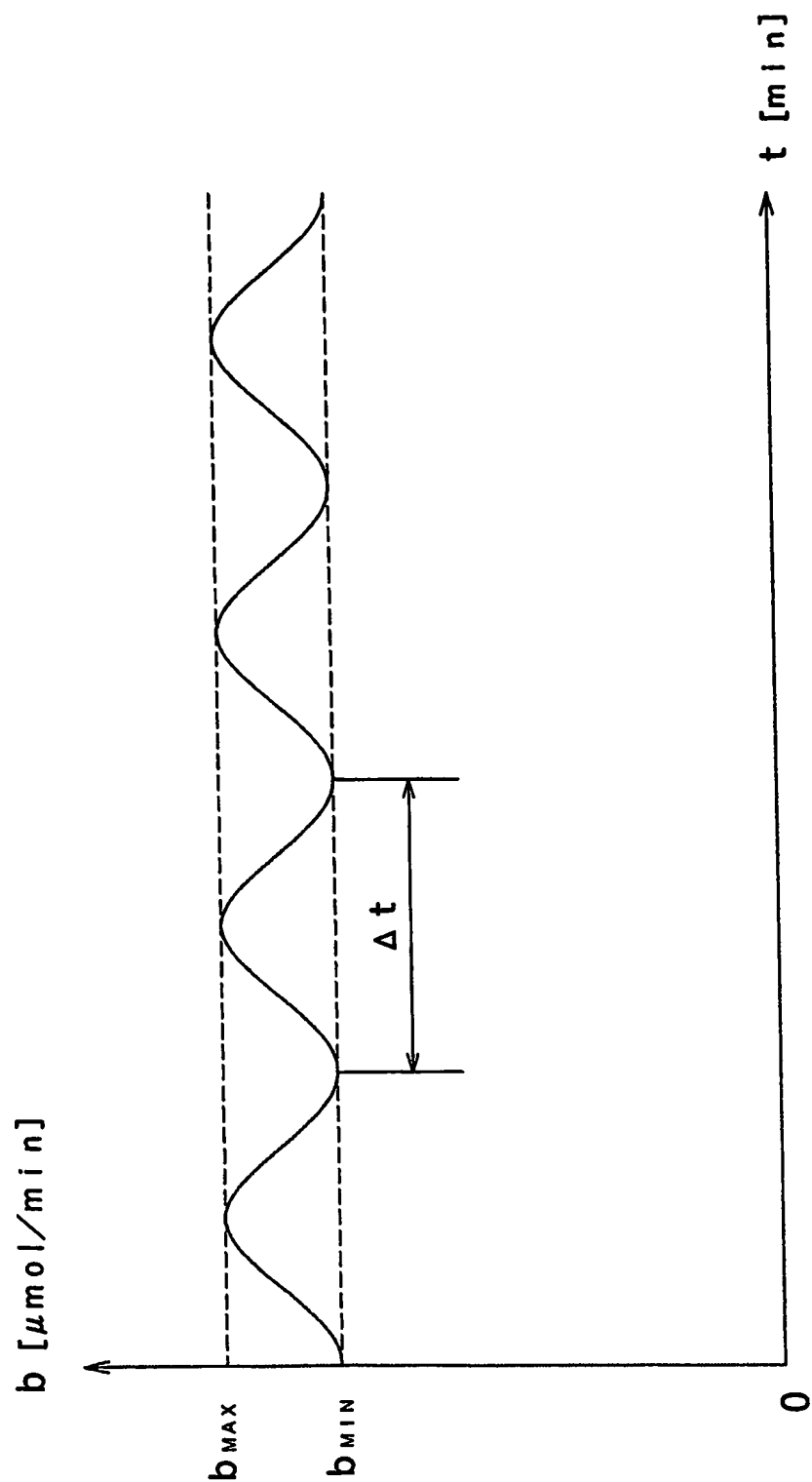
【0079】

- R : ボーア半径
- ϵ : 誘電率
- m_e : 電子の有効質量
- m_h : 正孔の有効質量
- m_0 : 電子の静止質量
- a : III族窒化物系化合物半導体のインジウム組成比
- I : 注入キャリア量
- I_0 : 注入キャリア量の基準値
- 20 : 面発光型の半導体レーザにおける半導体結晶成長時の積層構造
- 21 : n型コンタクト層 (Ga_{0.5}N_{0.5})
- 22 : n型DBR層 (n型 III族窒化物系化合物半導体)
- 23 : 活性層 (InGa_{0.5}N_{0.5})
- 24 : p型層 (Ga_{0.5}N_{0.5}またはAlGa_{0.5}N_{0.5})
- 25 : DBR層 (誘電体またはp型 III族窒化物系化合物半導体)

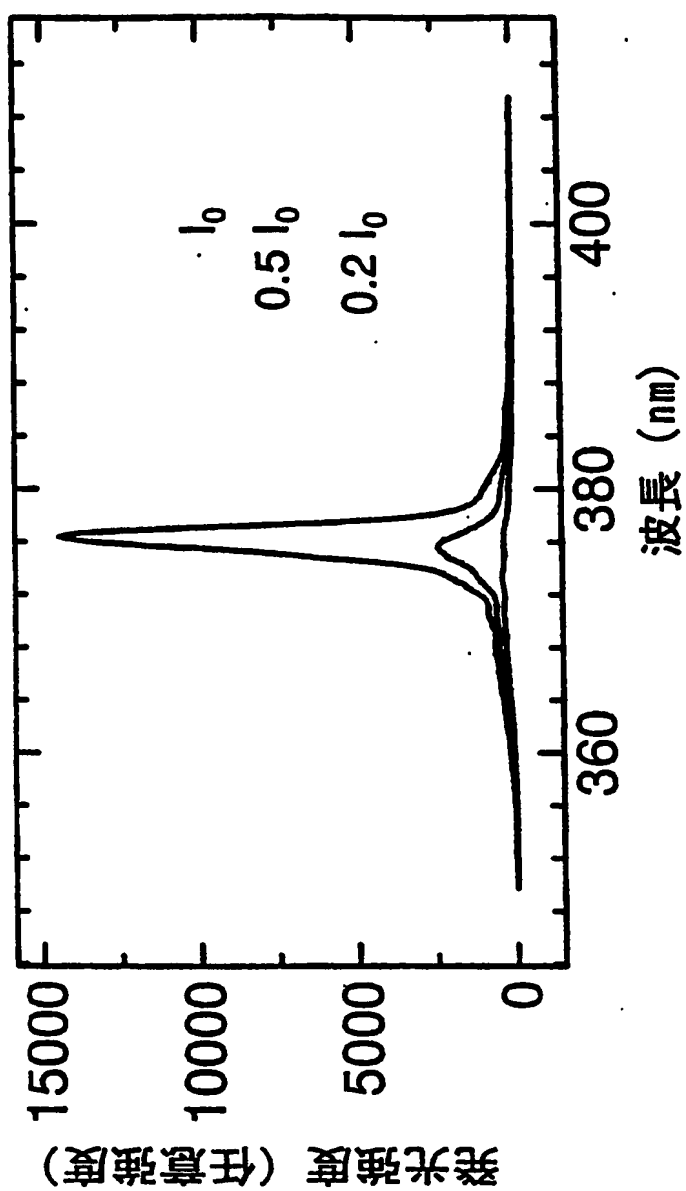
【書類名】 図面
【図 1】



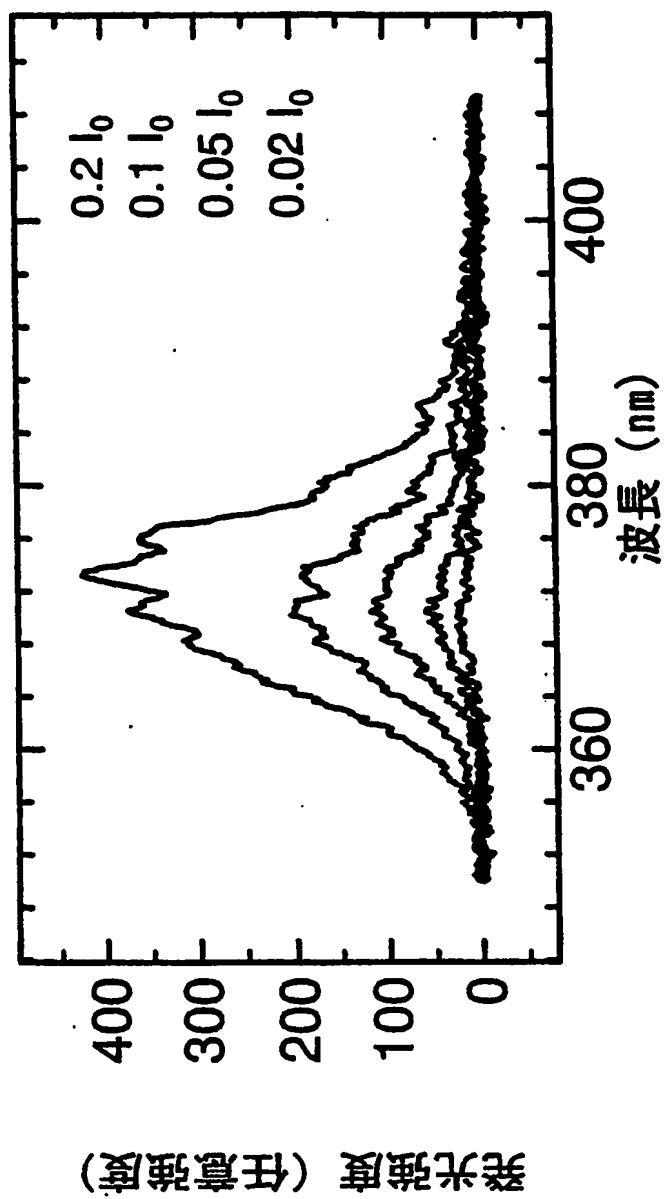
【図 2】



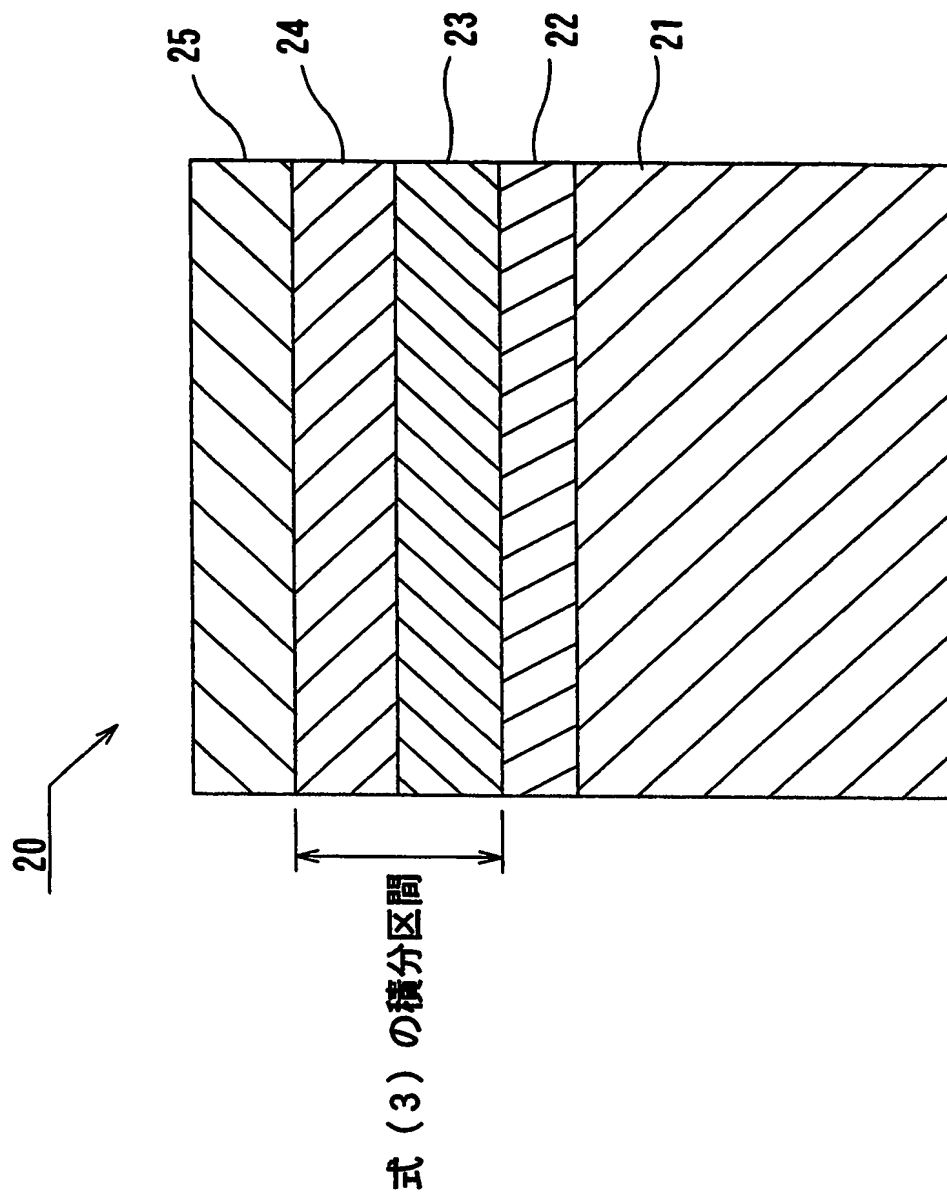
【図3-A】



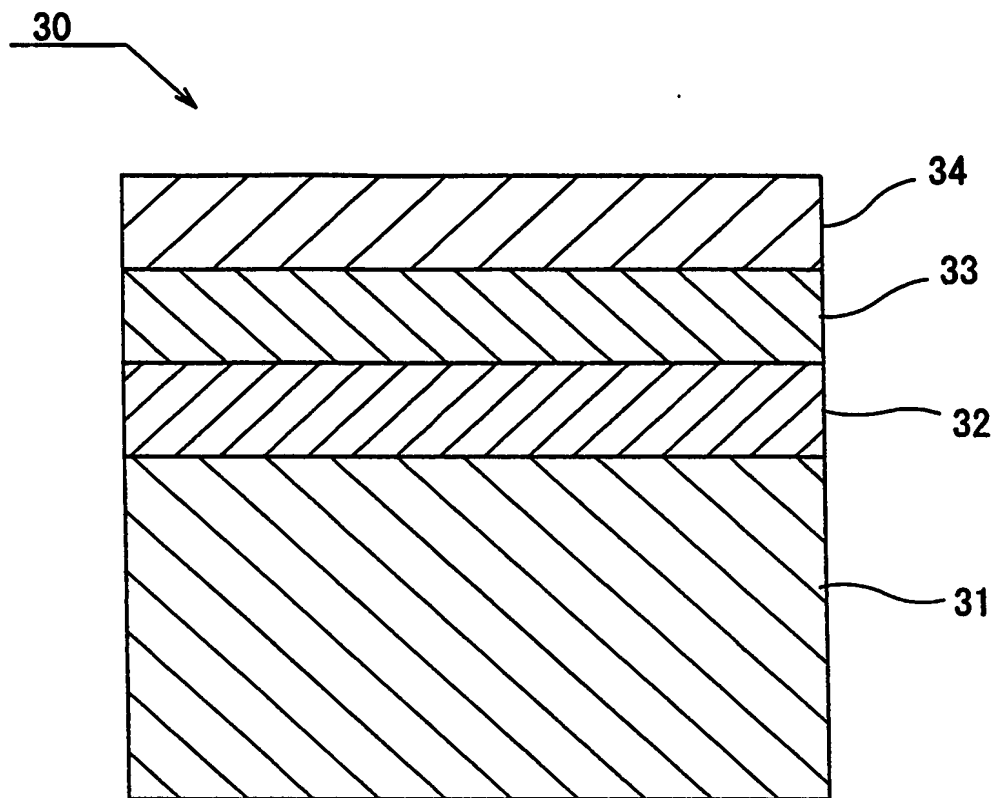
【図 3-B】



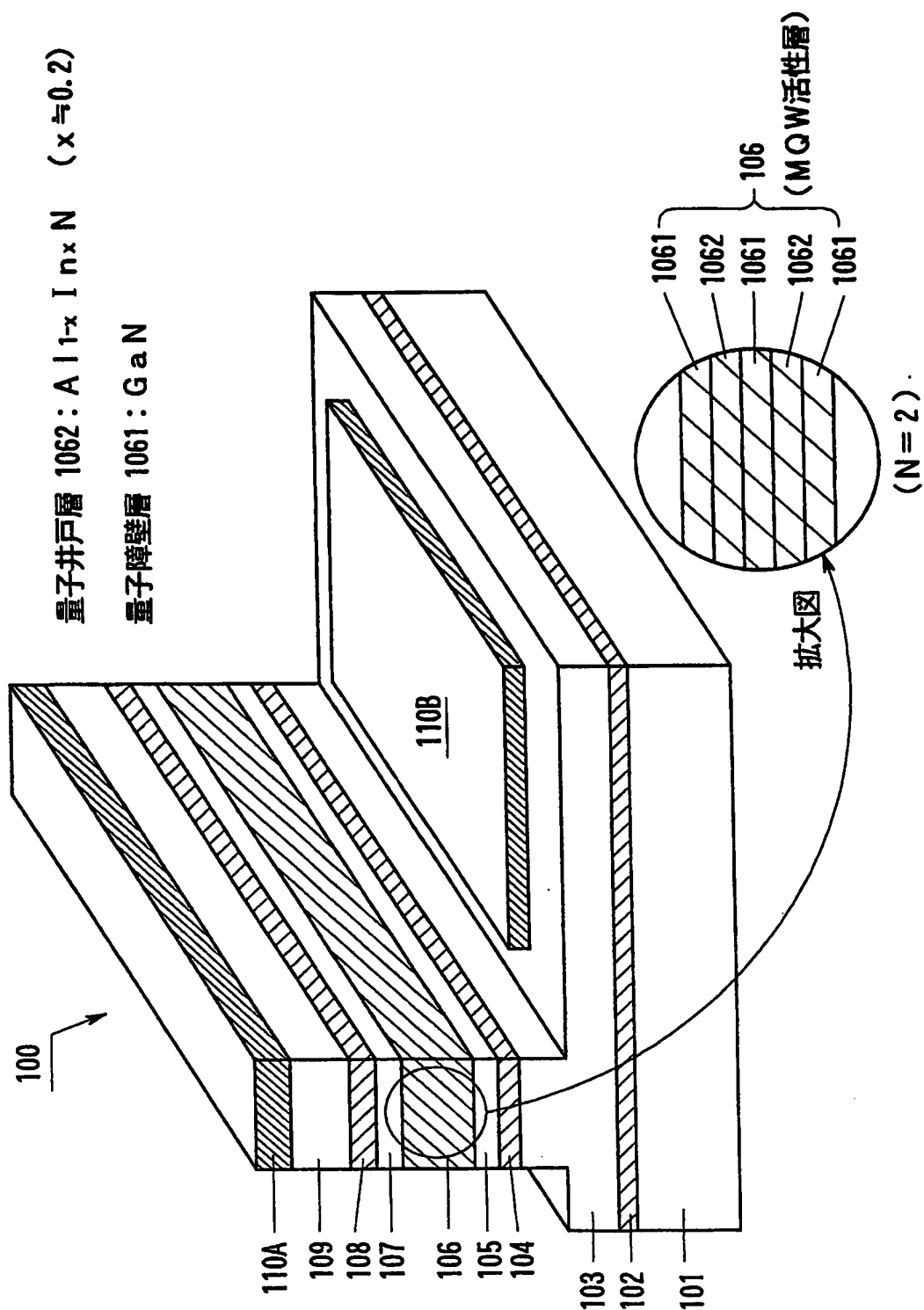
【図 4】



【図 5】



【図6】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】利得の高い活性層を安価な生産コストで簡単に得る。

【解決手段】面発光型の半導体レーザの半導体結晶の積層構造 20 において、符号 21 は n 型の GaN から成る n 型コンタクト層であり、符号 24 は p 型の AlGaIn から成る p 型層である。この面発光型の半導体レーザでは、InGaIn から成る活性層 23 の上方及び下方にそれぞれ、n 型の InGaIn から成る n 型 DBR 層 22 と誘電体から成る DBR 層 25 を積層することにより、z 軸に垂直な反射面が形成されている。即ち、活性層 23 の上方及び下方に z 軸に垂直な反射面をそれぞれ設けることで、共振器を構成する。ここで、この双方の反射面の間の光学的な距離 $\Delta Z (\equiv \int n(z, \lambda) dz)$ は発光波長 λ の半整数倍にする。その他の構成については、従来通りで良い。例えば、この様な構成により、面発光型の半導体レーザを従来よりも遥かに簡単に製造することが可能となる。

【選択図】図 4

特願 2 0 0 3 - 2 9 7 6 8 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 2 4 1 4 6 3]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地

氏 名

豊田合成株式会社